

УДК 537.5; 621.387

Р.В. Грицак, О.К. Шуаїбов, О.Й. Миня, З.Т. Гомокі, Т.І. Варга
Ужгородський національний університет, вул. Підгірна, 46, 88000, Ужгород
e-mail: roksolanija@ukr.net

ЛАМПА НА СМУЗІ 175 нм ArCl (B-X) З НАКАЧУВАННЯМ НАНОСЕКУНДНИМ БАР'ЄРНИМ РОЗРЯДОМ

Досліджено оптичні характеристики ArCl-Cl₂ і Cl₂-KrCl-ArCl ламп, які збуджувались наносекундним бар'єрним розрядом. Даний розряд є багатохвильовим джерелом випромінювання з спектральними максимумами на 175 нм ArCl (B→X), 258 нм Cl₂(D'-A'), 222 нм KrCl (B→X), 200 нм KrCl (D→X) та 309 нм OH (A→X). Проведена оптимізація інтенсивності випромінювання плазми бар'єрного розряду в залежності від парціального тиску парів CCl₄ при p(Ar) = 24 кПа, від тиску аргону при p(CCl₄) = 0,13 кПа, від тиску Kr при p(Ar) = 6,6-13,3 кПа і p(CCl₄) = 0,133 кПа. Досліджено інтенсивності випромінювання смуг Cl₂(D'-A') і KrCl (B→X) в залежності від частоти слідування імпульсів струму.

Ключові слова: бар'єрний розряд, плазма, інтенсивність, галогени, інертні гази.

Вступ

Імпульсний бар'єрний розряд знайшов широке використання у різних галузях науки, медицини та оптичних технологіях. Зокрема, в праці [1] KrCl^{*}-лампа використовувалась для фотодеградації чотирихлорфенола в стічних водах, автори [2] пропонують використовувати KrCl^{*}-лампу для створення приладів неруйнуючої ідентифікації алмазів та його імітаторів. Бар'єрний розряд має значний ресурс роботи, оскільки електроди не контактують з плазмою, що усуває ерозію електродів та напilenня металевих плівок на внутрішній стінці кварцової колби.

Лампи на сумішах Kr і Xe з молекулами Cl₂ і Br₂ є найбільш дослідженими при роботі на одній фіксованій смузі тієї чи іншої оксиплексної молекули [3-5]. Одночасне утворення моногалогенідів інертних газів у плазмі підвищеної густини вивчалось в розряді змінного струму через діелектрик та поперечному об'ємному розряді субмікросекундної тривалості в працях [6-9]. Дослідження випромінювання мікросекундного бар'єрного розряду при збудженні двокомпонентної суміші Kr - CCl₄ вивчалось в [10].

Дослідження емісійних характеристик бар'єрного розряду в сумішах Ar-CCl₄ та Kr-Ar-CCl₄ раніше не проводилось.

Метою даної роботи є експериментальне дослідження оптичних характеристик випромінювання плазми бар'єрного розряду в сумішах Ar-CCl₄ та Kr-Ar-CCl₄, що пов'язано з оптимізацією роботи багатохвильової УФ-ВУФ-лампи на хлоридах криптону, аргону та молекулах хлору. Внаслідок використання аргону «технічної чистоти», в робочих сумішах були наявні в невеликій кількості пари води (10-30 Па).

Умови і техніка експерименту

Дослідження бар'єрного розряду проводились з використанням колби, яка була виготовлена у вигляді коаксіальної системи з двох циліндричних трубок з кварцу марки «КУ-1» і мала довжину 200 мм. Діаметр зовнішньої трубки становив 24 мм, а внутрішньої - 12 мм. Площа робочої поверхні розрядної трубки становила приблизно 360 см². Умови експерименту описані в статті [11].

Емісійні характеристики

Спектри випромінювання бар'єрного розряду в сумішах Ar-CCl₄ та Kr-Ar-CCl₄ були усереднені за часом і приведені до відносної спектральної чутливості системи «вакуумний монохроматор-фотопомножувач ФЕУ-142».

При дослідженні спектральних характеристик бар'єрного розряду в бінарній суміші аргону з парами CCl_4 виявилось, що в діапазоні $\Delta\lambda=150\text{-}312$ нм найбільш інтенсивними були смуги випромінювання з максимумом при $\lambda=175$ нм ArCl ($\text{B}\rightarrow\text{X}$) та $\lambda=258$ нм $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$, а смуга з максимумом при $\lambda=309$ нм OH ($\text{A}\rightarrow\text{X}$) була менш інтенсивною (рис. 1). Коли парціальний тиск аргону складав 24 кПа, а парціальний тиск парів CCl_4 варіювався в діапазоні 26 – 133 Па, то в спектрі випромінювання найбільш інтенсивними були смуги радикала OH ($\text{A}\rightarrow\text{X}$) і ArCl ($\text{B}\rightarrow\text{X}$). При підвищенні тиску парів CCl_4 до 160 Па, домінували смуги ArCl ($\text{B}\rightarrow\text{X}$) і $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$. Ефективне утворення молекули $\text{Cl}_2(\text{D}')$ відбувалось, коли $p(\text{CCl}_4) > 200$ Па, а інтенсивність смуги ArCl ($\text{B}\rightarrow\text{X}$) при цих умовах значно зменшувалась. Коли парціальний тиск фреону CCl_4 переважав 290 Па, то це призводило до значного зменшення інтенсивності смуг ArCl ($\text{B}\rightarrow\text{X}$) і OH ($\text{A}\rightarrow\text{X}$).

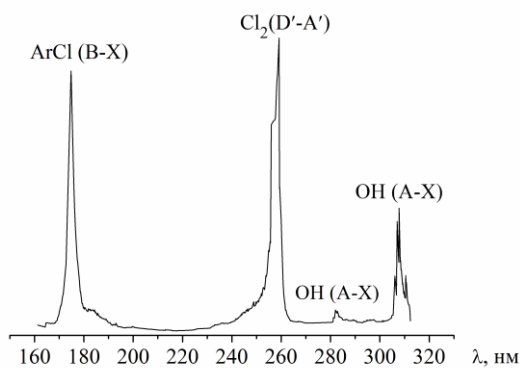


Рис. 1. Спектр випромінювання наносекундного бар'єрного розряду в суміші $p(\text{Ar})/p(\text{CCl}_4)=24$ кПа / 133,3 Па.

При фіксованому значенні парціального тиску парів фреону ($p(\text{CCl}_4)=133,3$ кПа) і тиску аргону 5 - 10 кПа у спектрах спостерігалось випромінювання смуг з максимумом при $\lambda=175$ нм ArCl ($\text{B}\rightarrow\text{X}$) та $\lambda=258$ нм $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$. Також виявлене менш інтенсивне випромінювання смуг при $\lambda=169$ нм ArCl ($\text{D}\rightarrow\text{X}$) та $\lambda=199$ нм ArCl ($\text{C}\rightarrow\text{A}$) [12, 13]. При збільшенні тиску аргону в діапазоні 20 – 50 кПа у спектрі випромінювання розряду найбільш інтенсивною була смуга

$\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$, а інтенсивність смуг ArCl різко зменшувалась.

Дослідження спектральних характеристик потрійної суміші Kr-Ar-CCl_4 показало, що майже у всіх спектрах переважає випромінювання смуги KrCl ($\text{B}\rightarrow\text{X}$). Для розряду в суміші $p(\text{Kr})/p(\text{Ar})/p(\text{CCl}_4) = 6,6 / 6,6 / 0,133$ кПа у спектрі випромінювання плазми спостерігалось інтенсивне випромінювання смуги KrCl ($\text{B}\rightarrow\text{X}$) та менш інтенсивне випромінювання смуг KrCl (D-X), $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$. Збільшення тиску аргону до 20 кПа призводило до появи у спектрах випромінювання смуги ArCl ($\text{B}\rightarrow\text{X}$) (рис. 2). Загальна інтенсивність смуг у розряді в суміші Kr-Ar-CCl_4 зменшувалась при її складі: $p(\text{Kr})/p(\text{Ar})/p(\text{CCl}_4) = 13,3 / 13,3 / 0,133$ кПа. Смуга з максимумом при $\lambda=258$ нм $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$ була найбільш інтенсивною при зменшенні тиску Kr до 1,333 кПа.

Випромінювання смуги радикала OH в суміші Kr-Ar-CCl_4 не спостерігалось.

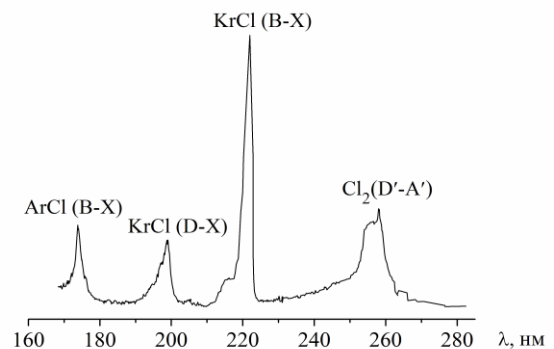


Рис. 2. Спектр випромінювання наносекундного бар'єрного розряду в суміші $p(\text{Kr})/p(\text{Ar})/p(\text{CCl}_4)=6,6 / 20 / 0,133$ кПа.

Результати оптимізації розряду в суміші Ar-CCl_4 при $p(\text{Ar})=24$ кПа показали, що для одержання максимальної інтенсивності смуги $\lambda = 175$ нм ArCl ($\text{B}\rightarrow\text{X}$) оптимальний тиск парів CCl_4 знаходиться в діапазоні 100-200 Па, а для смуги з $\lambda = 258$ нм Cl_2 він переважав 200 Па (рис. 3,а). Смуги радикала OH ($\text{A}\rightarrow\text{X}$) у спектральному діапазоні $\Delta\lambda=305\text{-}311$ нм спостерігались лише при тиску парів фреону в діапазоні 75 - 200 Па.

Оптимальний тиск аргону, який необхідний для одержання максимальної

інтенсивності смуг ArCl^* , Cl_2^* (рис. 3.б) становив 5 - 10 кПа. Таке ж оптимальне значення тиску аргону потрібно, щоб спостерігати на порядок менш інтенсивне випромінювання радикала гідроксилу.

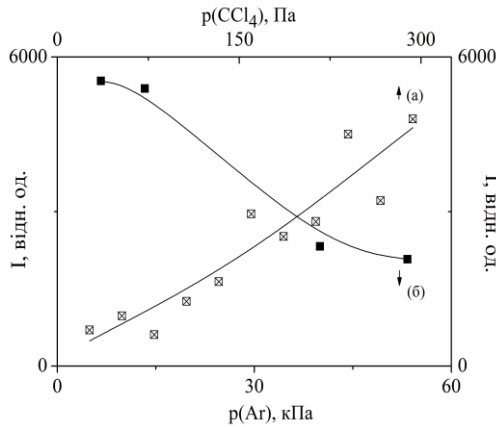


Рис. 3. Залежності інтенсивності випромінювання смуги з максимумом при $\lambda=258$ нм $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$ у розряді в подвійній суміші від парціального тиску парів фреону при $p(\text{Ar}) = 24$ кПа (а) і від парціального тиску аргону при $p(\text{CCl}_4) = 133$ Па (б).

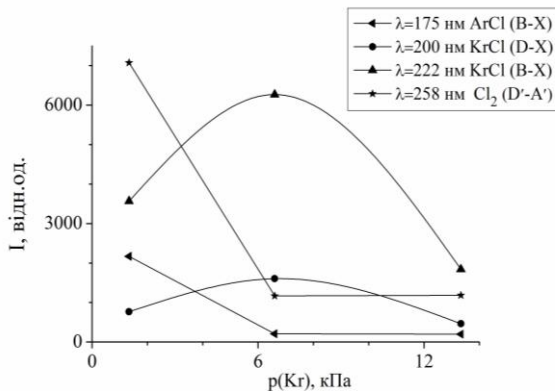


Рис. 4. Залежності інтенсивності випромінювання смуг $\text{ArCl}(\text{B}\rightarrow\text{X})$, $\text{KrCl}(\text{D}\rightarrow\text{X})$, $\text{KrCl}(\text{B}\rightarrow\text{X})$, $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$ в розряді в суміші Kr-Ar-CCl_4 від парціального тиску криптону при $p(\text{Ar}) = 6,6-13,3$ кПа і $p(\text{CCl}_4) = 0,133$ кПа.

На рис. 4 приведені результати оптимізації випромінювання розряду в суміші Kr-Ar-CCl_4 від парціального тиску криптону. Найбільш інтенсивне випромінювання смуг $\lambda = 222$ нм $\text{KrCl}(\text{B}\rightarrow\text{X})$ та $\lambda = 200$ нм $\text{KrCl}(\text{D}\rightarrow\text{X})$ спостерігалось, коли оптимальний парціальний тиск криптону знаходився в діапазоні 4 - 8 кПа. Щодо інтенсивності смуг $\lambda=175$ нм $\text{ArCl}(\text{B}\rightarrow\text{X})$ та $\lambda=258$ нм $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$, то оптимальний тиск криптону становив – 1,333 - 2 кПа.

Основними процесами, які призводять до утворення збуджених молекул KrCl^* , ArCl^* є електронне збудження та іонізація атомів Kr й Ar , дисоціація молекули CCl_4 , «гарпунна» реакція атомів Kr^* і Ar^* з хлорвмісними молекулами, іон-іонна рекомбінація іонів Kr^+ і Ar^+ з Cl^- тощо [10].

Для смуг $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$ і $\text{KrCl}(\text{B}\rightarrow\text{X})$ проведено дослідження залежності інтенсивності випромінювання від частоти слідування імпульсів струму при зарядній напрузі $U_d=13$ кВ у розряді в суміші Ar-CCl_4 і Kr-Ar-CCl_4 (рис.5, а,б). Результати оптимізації показали, що різкий ріст інтенсивності смуг спостерігається при частотах $\Delta f = 400 - 1000$ Гц і ці залежності близькі до лінійних. Насичення залежностей інтенсивності смуг випромінювання $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$ і $\text{KrCl}(\text{B}\rightarrow\text{X})$ не спостерігалось.

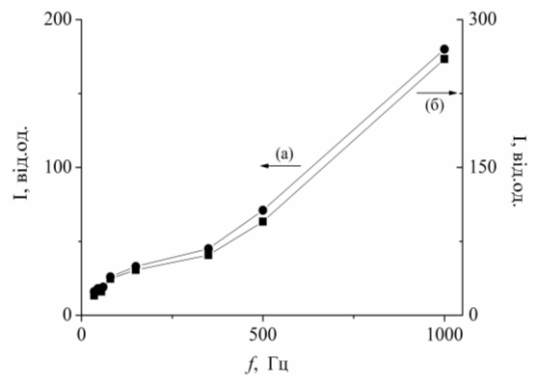


Рис. 5. Залежність інтенсивності смуги $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$ від частоти слідування імпульсів струму при зарядній напрузі $U=13$ кВ для розряду в суміші $p(\text{Ar})/p(\text{CCl}_4) = 6,66 / 0,133$ кПа (а) та смуги $\text{KrCl}(\text{B}\rightarrow\text{X})$ для розряду в суміші $p(\text{Kr})/p(\text{Ar})/p(\text{CCl}_4) = 1,333 / 6,6 / 0,133$ кПа (б).

Висновки

Таким чином, дослідження емісійних характеристик наносекундного бар'єрного розряду в сумішах Ar-CCl_4 і Kr-Ar-CCl_4 виявило умови створення багатохвильової УФ-ВУФ-лампи на хлоридах аргону та криптону і молекулах хлору. Зокрема, було показано, що:

- оптимальний тиск парів CCl_4 , який необхідний для одержання максимальної інтенсивності смуги $\text{ArCl}(\text{B}\rightarrow\text{X})$, знаходиться в діапазоні 100 -200 Па, для смуги $\text{Cl}_2(\text{D}'\text{-A}')$ становить $p(\text{CCl}_4) > 200$ Па, а для

смуги OH (A→X) – $p(\text{CCl}_4)=75-100$ Па, оптимальний тиск аргону складає – 10 кПа;

▪ для смуг $\lambda = 222$ нм KrCl (B→X) та $\lambda = 200$ нм KrCl (D→X) оптимальний парціальний тиск криптону знаходиться в діапазоні 4 - 8 кПа, а для смуг $\lambda=175$ нм ArCl (B→X) та $\lambda=258$ нм Cl₂(D'-A') становить 1,333 - 2 кПа.

▪ залежності інтенсивності випромінювання смуг Cl₂(D'-A') і KrCl (B→X) від величини частоти слідування імпульсів струму при зарядній напрузі $U_d=13$ кВ були близькі до лінійних, що вказує на можливість збільшення середньої потужності ВУФ-УФ-випромінювання розряду при частотах $f > 1$ кГц.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Matafonova G., Batoev V., Philippova N. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2010 Vol II WCECS 2010. - San Francisco, USA, 2010, P. 667-670.
2. Липатов Е.И., Авдеев С.М., Тарасенко В.Ф., Соснин Э.А., Новоселов Ю.Н. Идентификация алмаза и его имитаторов с помощью KrCl эксилампы // Известия Томского политехнического университета. - Томский политехнический университет (ТПУ). - 2009. - Т. 314, № 2: Математика и механика. Фізика. - С. 137-141.
3. Erofeev M.V., Tarasenko V.F. XeCl-, KrCl-, XeBr- and KrBr-excimer lamps of the barrier discharge with the nanosecond pulse duration of radiation // J. Phys. D: Appl. Phys. – 2006. – Vol.39, №16. – P. 3609–3614.
4. Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф. Ультрафиолетовые KrCl эксилампы с накачкой импульсным продольным разрядом // ЖТФ – 1997. – Т. 67, № 1. – С. 78–82.
5. Eliasson B., Kogelschatz U. UV Excimer Radiation from Dielectric-barrier Discharges // Appl. Phys. B. – 1988. – Vol. B46. – P. 299–303.
6. Шуайбов А.К., Шевера В.С. Образование фторидов инертных газов в электрическом разряде переменного тока // Журнал технической физики – 1979. – Т.49, № 8. – С. 1747-1748.
7. Шуайбов А.К., Миня А.И., Дашенко А.И. Образование эксимерных молекул и возбужденных атомов в положительном коронном разряде на смесях He/Xe/SF₆/CCl₄ и He/ Kr/SF₆/CCl₄ // ЖТФ – 2001. – Т.71, В. 12. – С. 95–97.
8. Шуайбов А.К., Шимон Л.Л., Дашенко А.И., Шевера И.В. Многоволновый электроразрядный излучатель на системе полос $\lambda = 308$ нм XeCl(B-X)/258 нм Cl₂(D'-A')/ 236 нм XeCl(D-X)/222 нм KrCl(B-X)/ 175 нм ArCl(B-X)/160 нм H₂(B-X) // ЖТФ – 2001. – Т.71, № 2. – С. 77–81.
9. Шуайбов А.К., Шевера И.В., Грабовая И.А. Высокочастотный эксимерно-галогенный источник ультрафиолетового излучения на смеси аргон-ксенон-хлор // ЖТФ – 2008. – Т.78, №5. – С. 128-130.
10. Пикулев А.А., Цветков В.М. Исследование законов подобия газового разряда при возбуждении смеси Kr/CCl₄ барьерным разрядом // ЖТФ – 2010. – Т. 80, №1. – С. 45 – 53.
11. Шуайбов А.К., Миня А.И., Гомоки З.Т., Грицак Р.В. Эмиссионные характеристики барьерного разряда на смеси аргона с парами фреона и воды в УФ-ВУФ области // Оптика и спектроскопия – 2013. – Т.114, №5. – С. 30-32.
12. Gundel L.A., Setser D.W., Clyne M.A.A., Coxon J.A., Nip W. Rate constants for specific product channels from metastable Ar(³P_{2,0}) reactions and spectrometer calibration in the vacuum ultraviolet // J. Chem. Phys. – 1976. – Vol.64, №11, P. 4390-4410.
13. Tsuji M., Furusawa M., Mizuguchi T., Muraoka T., Nishimura Y. Dissociative excitation of CF₄, CCl₄, and chlorofluoromethanes by collisions with argon and helium active species // J. Chem. Phys. – 1992. – Vol. 97, №1, P. 245-255.

R.V. Hrytsak, A.K. Shuaibov, A.I. Minya, Z.T. Homoki, T.I. Varha
Uzhhorod National University, Pidgirna Str., 46, 88000, Uzhhorod

LAMP ON THE BAND 175 nm ArCl (B-X) BAND PUMPED BY A NANOSECOND BARRIER DISCHARGE

Optical characteristics of ArCl-Cl₂ and Cl₂-KrCl-ArCl lamps excited by a nanosecond barrier discharge are studied. This discharge is a source of the ArCl(B→X), Cl₂(D'-A'), KrCl(B→X), KrCl(D→X) and OH(A→X) molecular band emission with peaks at 175, 258, 200, 222 and 309 nm, respectively. The intensity of the barrier discharge plasma radiation is optimized as a function of the CCl₄ vapor partial pressure at p(Ar) = 24 kPa, Ar vapor partial pressure at p(CCl₄) = 0.13 kPa and Kr vapor partial pressure at p(CCl₄) = 0.13 kPa. The dependences of the radiation intensity of the Cl₂(D'-A') and KrCl(B→X) bands with the wavelength 258 nm and 222 nm on the repetition rate of the current pulses are studied.

Keywords: barrier discharge, plasma, intensity, halogens, rare gases.

Р.В. Грицак, А.К. Шуаибов, А. И. Миня, З.Т. Гомоки, Т.И. Варга
Ужгородский национальный университет, ул. Пидгирна, 46, 88000, Ужгород

ЛАМПА НА ПОЛОСЕ 175 нм ArCl (B-X) С НАКАЧКОЙ НАНОСЕКУНДНЫМ БАРЬЕРНЫМ РАЗРЯДОМ

Исследованы оптические характеристики ArCl-Cl₂ и Cl₂-KrCl-ArCl ламп, которые возбуждались наносекундным барьерным разрядом. Данный разряд является многополосным источником излучения с максимумами при 175 нм ArCl(B→X), 258 нм Cl₂(D'-A'), 222 нм KrCl(B→X), 200 нм KrCl(D→X) и 309 нм OH(A→X). Проведена оптимизация интенсивности излучения плазмы барьерного разряда в зависимости от парциального давления паров CCl₄ при p(Ar)=24 кПа, от давления аргона при p(CCl₄) = 0,13 кПа, от давления Кг при p(Ar)=6,6-13,3 кПа и p(CCl₄)= 0,133 кПа. Исследованы интенсивности излучения полос Cl₂(D'-A') и KrCl(B→X) в зависимости от частоты следования импульсов тока.

Ключевые слова: барьерный разряд, плазма, интенсивность, галогены, инертные газы.